






Non-thermosensitive medium for analysing species inside a channel**Publication number:** FR2811083**Publication date:** 2002-01-04**Inventor:** VIOVY JEAN LOUIS; BARBIER VALESSA**Applicant:** INST CURIE (FR)**Classification:**

- International: **G01N33/483; G01N27/447; G01N33/50; G01N33/483; G01N27/447; G01N33/50; (IPC1-7): B81B1/00; G01N27/447; B01D15/08; B01D57/02; B01L3/00; G01N33/68**

- european: G01N27/447B5

Application number: FR20000008526 20000630**Priority number(s):** FR20000008526 20000630**Also published as:**

 WO0201218 (A3)
 WO0201218 (A2)
 US2004084310 (A1)
 EP1295113 (A0)
 CA2414295 (A1)

more >>

Report a data error here**Abstract of FR2811083**

The invention concerns a non-thermosensitive liquid medium for analysing, purifying or separating species in a channel and comprising at least a polymer consisting of several polymeric segments. The invention is characterised in that said polymer is of the irregular block-copolymer or irregular comb-like polymer type and has on the average at least three junction points between polymeric segments of different chemical or topological nature. The invention also concerns methods for analysing, purifying or separating species using a non-thermosensitive separation medium.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 811 083

②1 N° d'enregistrement national : **00 08526**

⑤1 Int Cl⁷ : G 01 N 27/447, G 01 N 33/68, B 01 D 57/02, 15/08,
B 01 L 3/00 // B 81 B 1/00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 30.06.00.

③0 Priorité :

⑦1 Demandeur(s) : INSTITUT CURIE — FR et CENTRE
NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CNRS — FR.

⑦2 Inventeur(s) : VIOVY JEAN LOUIS et BARBIER
VALESSA.

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 04.01.02 Bulletin 02/01.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

⑤4 MILIEU LIQUIDE NON-THERMOSENSIBLE POUR L'ANALYSE D'ESPECES AU SEIN D'UN CANAL.

⑤7 La présente invention a pour objet un milieu liquide non-thermosensible pour l'analyse, la purification ou la séparation d'espèces au sein d'un canal et comprenant au moins un polymère composé de plusieurs segments polymériques, caractérisé en ce que ledit polymère est du type copolymère-bloc irrégulier ou polymère en peigne irrégulier et possède en moyenne au moins trois points de jonction établis entre des segments polymériques de nature chimique ou topologique différente.

Elle a également pour objet des procédés pour l'analyse, la purification ou la séparation d'espèces à l'aide d'un milieu de séparation non-thermosensible.

FR 2 811 083 - A1



La présente invention concerne le domaine des techniques d'analyse, de séparation et de purification d'espèces, selon lesquelles il est nécessaire de faire migrer ces espèces au sein d'un fluide appelé « milieu de séparation ».

Elle vise plus particulièrement à proposer un milieu de séparation
5 approprié à la séparation d'espèces dans des canaux ou des capillaires dont l'une des dimensions au moins est submillimétrique, et typiquement comprise entre 20 μm et 200 μm (appelés dans la suite microcanaux). Il s'agit en particulier de méthodes de séparation ou d'analyse de macromolécules biologiques par électrophorèse capillaire, par chromatographie, ou par toute
10 méthode mise en jeu dans des microcanaux (électrophorèse et chromatographie capillaires, systèmes microfluidiques, "laboratoires sur puces"). L'invention est particulièrement utile dans le cas de l'électrophorèse.

Dans ce qui suit, on désignera par "système "microfluidique", tout système dans lequel des fluides et/ou des espèces contenues dans un fluide
15 sont mus au sein d'un canal ou d'un ensemble de canaux dont l'une des dimensions au moins est submillimétrique, et on désignera par électrophorèse capillaire (EC) les systèmes microfluidiques dans lesquels le transport des espèces s'effectue sous l'action d'un champ électrique.

L'EC et les systèmes microfluidiques permettent des séparations plus
20 rapides et plus résolutes que les méthodes plus anciennes d'électrophorèse sur gel, ne réclament pas de milieu anticonvectif, et leurs propriétés ont été utilisées largement pour effectuer des séparations d'ions en milieu liquide. A l'heure actuelle, la grande majorité des séparations de macromolécules biologiques effectuées en EC ont recours à des solutions de polymères
25 hydrosolubles linéaires enchevêtrés présentant l'avantage de pouvoir être remplacées aussi souvent que nécessaire.

De nombreux polymères non réticulés ont été proposés comme milieux pour la séparation d'espèces au sein d'un canal, en particulier dans le contexte de l'électrophorèse capillaire. Le choix du meilleur polymère pour une
30 application donnée dépend de plusieurs paramètres. Pour la séparation

La présente invention concerne le domaine des techniques d'analyse, de séparation et de purification d'espèces, selon lesquelles il est nécessaire de faire migrer ces espèces au sein d'un fluide appelé « milieu de séparation ».

Elle vise plus particulièrement à proposer un milieu de séparation
5 approprié à la séparation d'espèces dans des canaux ou des capillaires dont l'une des dimensions au moins est submillimétrique, et typiquement comprise entre 20 μm et 200 μm (appelés dans la suite microcanaux). Il s'agit en particulier de méthodes de séparation ou d'analyse de macromolécules biologiques par électrophorèse capillaire, par chromatographie, ou par toute
10 méthode mise en jeu dans des microcanaux (électrophorèse et chromatographie capillaires, systèmes microfluidiques, "laboratoires sur puces"). L'invention est particulièrement utile dans le cas de l'électrophorèse.

Dans ce qui suit, on désignera par "système "microfluidique", tout système dans lequel des fluides et/ou des espèces contenues dans un fluide
15 sont mus au sein d'un canal ou d'un ensemble de canaux dont l'une des dimensions au moins est submillimétrique, et on désignera par électrophorèse capillaire (EC) les systèmes microfluidiques dans lesquels le transport des espèces s'effectue sous l'action d'un champ électrique.

L'EC et les systèmes microfluidiques permettent des séparations plus
20 rapides et plus résolitives que les méthodes plus anciennes d'électrophorèse sur gel, ne réclament pas de milieu anticonvectif, et leurs propriétés ont été utilisées largement pour effectuer des séparations d'ions en milieu liquide. A l'heure actuelle, la grande majorité des séparations de macromolécules biologiques effectuées en EC ont recours à des solutions de polymères
25 hydrosolubles linéaires enchevêtrés présentant l'avantage de pouvoir être remplacées aussi souvent que nécessaire.

De nombreux polymères non réticulés ont été proposés comme milieux pour la séparation d'espèces au sein d'un canal, en particulier dans le contexte de l'électrophorèse capillaire. Le choix du meilleur polymère pour une
30 application donnée dépend de plusieurs paramètres. Pour la séparation

d'analytes en fonction de leurs tailles par exemple, il faut que le milieu présente aux analytes des obstacles topologiques suffisamment résistants (Viovy et coll., Electrophoresis, 1993, 14, 322). Ceci implique que le milieu de séparation soit fortement enchevêtré, et donc assez visqueux. Il faut également que les polymères présents dans le milieu de séparation ne présentent pas d'interaction attractives avec les analytes. En effet, ce type d'interactions donne lieu à un retardement de certains analytes, et à une dispersion supplémentaire (H. Zhou et coll. HPCE 2000, Saarbrücken, 20-24/2/2000). Ainsi, il est bien connu que pour le séquençage de l'ADN, ou pour la séparation de protéines, on obtient de moins bons résultats quand la matrice présente un caractère plus hydrophobe.

Il a également été proposé dans la littérature d'utiliser en tant que milieu de séparation des copolymères. Dans Menchen, WO 94/07133, il est proposé d'utiliser comme milieu de séparation en électrophorèse capillaire, des milieux comportant des copolymères de type copolymère bloc dits réguliers car présentant des segments hydrophiles d'une longueur sélectionnée et essentiellement uniforme et une pluralité de segments hydrophobes régulièrement espacés, à une concentration supérieure à la concentration de recouvrement entre polymères. Ces milieux présentent l'avantage d'être rhéofluidifiants, c'est à dire qu'ils peuvent être introduits dans un capillaire sous forte pression, tout en présentant en l'absence de pression extérieure des obstacles topologiques solides. Malheureusement, les milieux utilisables selon ce principe sont difficiles à synthétiser, ce qui les rend coûteux et limite le type de structures qui peut être envisagé. Egalement, ces polymères sont relativement hydrophobes, et leurs performances pour le séquençage de l'ADN par exemple, sont modestes.

Il a également été proposé d'utiliser en tant que milieu de séparation des milieux thermosensibles, dont la viscosité varie fortement au cours d'une élévation de température. Ce type de milieu a pour avantage de permettre l'injection dudit milieu dans le capillaire à une première température dans un

état de faible viscosité, et la séparation à une seconde température dans un état de plus forte viscosité présentant de bonnes performances de séparation, comme cela est couramment effectué en électrophorèse en gel, en particulier avec l'agarose. Dans les demandes WO 94/10561 et WO 95/30782 sont

5 notamment proposés des milieux permettant une injection plus facile par élévation de la température. En fait, sont essentiellement décrits dans ces demandes de brevet des microgels capables de diminuer de volume à haute température (conduisant ainsi à une solution diluée de particules discontinues de faible viscosité) et de se gonfler à basse température jusqu'à occuper

10 entièrement le canal de séparation (conférant ainsi au milieu un caractère gélifié et de bonnes propriétés de séparation). La demande WO 98/10274 propose pour sa part un milieu de séparation moléculaire comportant au moins un type de copolymères blocs qui est en solution à une première température et dans un état de type gel à une seconde température. Les milieux décrits

15 comprennent des polymères triblocs de faibles masses moléculaires (typiquement inférieures à 20 000), de la famille polyoxyéthylène-polyoxypropylène-polyoxyéthylène (POE-POP-POE) et plus spécifiquement encore le (POE₉₉-POP₆₆-POE₉₉, où les indices représentent les nombres de monomères de chaque bloc) (nom commercial « Pluronic F127 »). A basse

20 température, les deux segments POE en extrémité des systèmes triblocs sont hydrosolubles, et étant donnée la faible masse moléculaire du copolymère, les solutions sont relativement peu visqueuses jusqu'à une concentration élevée. En élevant la température aux alentours de 15-25°C, le segment central POP central devient plus hydrophobe, et ces polymères s'associent pour constituer

25 un état de type gel. Toutefois, ce mécanisme présente pour l'électrophorèse plusieurs inconvénients. D'une part, il ne donne lieu à un état gel doué de bonnes propriétés de séparation électrophorétique qu'à des concentrations en polymère importantes, supérieures à 15 g/100ml voire à 20g/100ml, ce qui conduit à une forte friction et à des temps de migration longs. Par ailleurs, la

30 dépendance des propriétés en fonction de la vitesse de changement de

température rend la reproductibilité des résultats aléatoire. Enfin, pour beaucoup d'applications et dans beaucoup d'appareils, il est peu commode, voire impossible, de changer la température entre la phase de remplissage du canal et la phase de séparation.

5 Dans Madabhushi, US 5, 552 028, WO 95/16910, WO 95/16911 il est également proposé d'utiliser des milieux de séparation comportant un milieu tamisant et un composant d'interaction de surface constitué par un polymère à propriétés d'adsorption aux parois, de masse moléculaire comprise entre 5 000 et 1 000 000, du type polymère d'acrylamide disubstitué. Ces matrices, et plus
10 particulièrement le polydiméthylacrylamide (PDMA) permettent de réduire l'électroosmose et conduisent pour certaines applications, comme le séquençage, à de bonnes propriétés de séparation. Cependant, elles sont relativement hydrophobes, ce qui limite leurs performances pour certaines applications comme le séquençage de l'ADN, et est encore plus néfaste pour
15 d'autres applications comme la séparation de protéines. Par ailleurs, elles conduisent à des séparations lentes.

En conséquence, malgré un grand nombre d'études et de systèmes proposés, on ne dispose pas à ce jour pour toutes les applications évoquées ci-dessus, d'un milieu qui soit optimal à la fois sur les différents aspects de coût,
20 de performances de séparation, de réduction des interactions avec les parois et de commodité d'utilisation.

La présente invention a précisément pour objet de proposer l'utilisation d'une famille de polymères particulièrement avantageuse à titre de milieu de
25 séparation liquide non thermosensible pour la séparation, l'analyse ou la purification d'espèces dans des canaux.

Plus particulièrement, la présente invention a pour objet un milieu liquide non-thermosensible pour l'analyse, la purification ou la séparation d'espèces au
30 sein d'un canal et comprenant au moins un polymère composé de plusieurs

segments polymériques, caractérisé en ce que ledit polymère est du type copolymère-bloc irrégulier ou polymère en peigne irrégulier et possède en moyenne au moins trois points de jonction établis entre des segments polymériques de nature chimique ou topologique différente.

5

Au sens de l'invention, on entend désigner par "polymère" un produit constitué par un ensemble de macromolécules et caractérisé par certaines propriétés telles que masse moléculaire, polymolécularité, composition chimique et microstructure. La polymolécularité caractérise la distribution de
10 masse moléculaire des macromolécules, au sens de la moyenne en masse familière aux hommes de l'art. Par microstructure, on entend la façon dont sont agencés au sein des macromolécules les monomères entrant dans leur composition chimique.

15 Selon l'invention, on entend par liquide et par opposition à un gel, tout milieu condensé capable d'écoulement, qu'il soit Newtonien ou viscoélastique. Le milieu liquide selon l'invention est non-thermosensible, c'est à dire qu'il ne présente pas, entre sa température de solidification plus 10 °C, et sa température d'ébullition moins 10°C, de changement brusque de sa viscosité.
20 On entend par changement brusque, une variation de l'ordre d'un facteur 2 ou plus, sur une gamme de température de 20°C ou moins.

Au sens de l'invention, on entend couvrir sous l'expression séparation, toute méthode visant à séparer, purifier, identifier ou analyser, l'ensemble ou
25 certaines des espèces contenues dans un échantillon. Le liquide est dans ce cas appelé "milieu de séparation", et est traversé par les espèces à séparer ou au moins certaines d'entre elles au cours du processus de séparation.

On entend désigner sous le terme "espèces" de manière générale des
30 particules, organelles ou cellules, des molécules ou macromolécules, et en

particulier des macromolécules biologiques comme les acides nucléiques (ADN, ARN, oligonucléotides), les analogues d'acides nucléiques obtenus par synthèse ou modification chimique, les protéines, les polypeptides, les glycopeptides et les polysaccharides. Dans les méthodes analytiques, lesdites
5 espèces sont communément appelées " analytes ".

L'invention est particulièrement avantageuse dans le cas de méthodes de séparation électrocinétiques.

On entend couvrir sous l'expression séparation électrocinétique, toute méthode visant à séparer l'ensemble ou certaines des espèces contenues
10 dans un mélange, en les faisant migrer au sein d'un milieu sous l'action d'un champ électrique, que le champ exerce son action motrice sur les analytes de façon directe ou indirecte, par exemple par l'intermédiaire d'un déplacement du milieu lui-même, comme dans l'électrochromatographie, ou d'un déplacement d'espèces annexes telles que des micelles, dans le cas de
15 l'électrochromatographie micellaire, ou par n'importe quelle combinaison d'actions directes et indirectes. Sera également considérée comme une méthode de séparation électrocinétique selon l'invention toute méthode de séparation dans laquelle la dite action du champ électrique est combinée à une autre action motrice d'origine non-électrique. Sont de ce fait appelées
20 « électrocinétiques », les méthodes d'électrophorèse capillaire ou d'électrophorèse sur "chips".

De façon avantageuse, en particulier dans le cas de séparations électrocinétique, le liquide sera constitué par un électrolyte.

Au sens de l'invention, on entend désigner par électrolyte, un liquide
25 capable de conduire les ions. Dans le cas le plus courant, ce milieu est un milieu aqueux tamponné, comme les tampons à base de phosphate, de tris(hydroxyméthyl)aminométhane (TRIS), de borate, de N-tris(hydroxyméthyl)méthyl-3-aminopropane sulfonic acid (TAPS), d'histidine, de lysine, etc... De nombreux exemples de tampons utilisables en électrophorèse
30 sont connus de l'homme de l'art, et un certain nombre d'entre eux sont décrits

par exemple dans " Sambrook et coll., " Molecular Cloning: a laboratory manual ", Cold Spring Harbor Lab, New York, 1989. Cependant, tous types d'électrolyte peuvent être utilisés dans le cadre de l'invention notamment les solvants hydroorganiques comme à titre d'exemple les mélanges eau-
5 acétonitrile, eau-formamide ou eau-urée, les solvants organiques polaires tels que, encore à titre d'exemple, la N-méthylformamide. Les électrolytes dits "tampons de séquençage", constitués par un tampon aqueux à pH alcalin additionné d'une proportion notable d'urée et/ou de formamide s'avèrent particulièrement utiles dans le cadre de l'invention.

10 On entend désigner par "canal" tout volume délimité par une ou plusieurs parois solides, présentant au moins deux orifices et destiné à contenir ou à être traversé par un fluide.

L'invention est particulièrement avantageuse dans les systèmes comportant au moins un canal dont une dimension au moins est de dimension
15 submillimétrique, tels que les systèmes de séparation électrocinétique en capillaire, les systèmes microfluidiques, et plus généralement les systèmes pour la séparation d'espèces employant des microcanaux.

Selon une variante privilégiée, l'invention vise l'utilisation en tant que
20 milieu de séparation liquide, d'une solution contenant des polymères présentant en moyenne au moins quatre points de jonction, de préférence un nombre de points de jonction compris entre 4 et 100, et plus préférentiellement un nombre de points de jonction compris entre 4 et 40.

Par point de jonction, on entend un point reliant soit deux segments
25 polymériques de nature chimique significativement différente, comme dans le cas d'un copolymère-bloc, soit un point de réticulation entre un nombre de segments polymériques, de nature chimique identique ou différente, supérieur à deux, comme dans les polymères en peigne. A titre d'exemple, un polymère en peigne comportant trois branches latérales comporte trois points de jonction
30 et sept segments polymériques distincts. De même, un copolymère-bloc

séquencé de type A-B-A-B comporte trois points de jonction et quatre segments polymériques distincts.

Au titre de l'invention, on entend désigner par "segment polymérique" ou "segment" un ensemble de monomères liés entre eux de façon covalente et
5 linéaire, et appartenant à un type donné de composition chimique, c'est à dire présentant globalement des propriétés physicochimiques spécifiques, en particulier en ce qui concerne la solvatation et/ou l'interaction avec une paroi solide. Un exemple de segment polymérique au sens de l'invention est donné par l'enchaînement au sein d'un copolymère, de monomères tous identiques
10 (segment homopolymère), ou un copolymère ne présentant pas de corrélation de composition significative sur des distances de plus de quelques monomères (segment de type copolymère statistique). Le polymère selon l'invention est composé de plusieurs segments polymériques dits distincts. Sont distincts au sens de l'invention deux segments polymériques se différenciant par leur
15 nature chimique et/ou leur topologie, c'est-à-dire la distribution spatiale des segments l'un par rapport à l'autre, par exemple squelette par opposition à branche latérale.

Selon une première variante privilégiée, les polymères selon l'invention sont du type copolymère-bloc irrégulier.

20 Au sens de l'invention, on entend désigner par copolymère-bloc, un copolymère constitué de plusieurs segments polymériques reliés entre eux de façon covalente, et appartenant à au moins deux types différents de composition chimique. Ainsi, deux segments polymériques adjacents au sein d'un copolymère-bloc linéaire sont nécessairement de nature chimique
25 significativement différente. Le copolymère-bloc se définit par le fait que chacun des segments comporte un nombre suffisant de monomères pour présenter au sein du milieu de séparation des propriétés physicochimiques et en particulier de solvatation, comparables à celles d'un homopolymère de même composition et de même taille. Il s'oppose au copolymère statistique, dans lequel les
30 différents types de monomères se succèdent de façon essentiellement

statistique, et confèrent localement à la chaîne des propriétés globales, différentes de celles des homopolymères de chacune des espèces en question. La taille des segments homopolymères nécessaires pour obtenir ce caractère bloc peut varier en fonction des types de monomères et de l'électrolyte, mais
5 elle est typiquement de quelques dizaines d'atomes le long du squelette dudit segment. Il est à noter qu'on peut constituer un copolymère bloc au sens de l'invention, dans lequel partie ou totalité des segments sont eux-mêmes constitués par un copolymère de type statistique, dans la mesure où on peut distinguer au sein dudit copolymère bloc des segments polymériques de taille
10 et de différence de composition chimique suffisantes pour donner lieu d'un segment à l'autre à une variation significative des propriétés physicochimiques et en particulier de solvation. En particulier, pour être considérée comme "segment polymérique" au sens de l'invention, une portion de polymère doit comporter le long de son squelette au moins 10 atomes.

15 Selon un mode privilégié de cette variante, le polymère selon l'invention est du type copolymère bloc séquencé irrégulier.

Au sens de l'invention, on entend par "copolymère bloc séquencé" un copolymère bloc composé de segments polymériques appartenant à au moins deux types chimiques distincts s'enchaînant de façon linéaire.

20 Selon une seconde variante privilégiée, le polymère selon l'invention est du type polymère en peigne irrégulier.

Au sens de l'invention, on entend désigner par "polymère en peigne", un polymère présentant un squelette linéaire d'une certaine nature chimique, et des segments polymériques appelés "branches latérales", d'une nature
25 chimique identique ou différente, également linéaires mais significativement plus courts que le squelette, attachés de façon covalente audit squelette par une de leurs extrémités. Dans un polymère en peigne, les segments polymériques constituant le squelette et ceux constituant les branches latérales diffèrent par leur nature topologique. Si les segments polymériques constituant
30 les branches latérales du polymère en peigne et ceux constituant son squelette

diffèrent également par leur nature chimique, le polymère présente à la fois la caractéristique de "polymère en peigne" et celle de "copolymère-bloc". De tels polymères, qu'on appelle "copolymères en peigne", constituent un sous-ensemble des polymères en peigne et peuvent bien sûr être utilisés dans le
5 cadre de l'invention.

On peut bien entendu envisager l'utilisation conjointe dans un milieu conforme à l'invention de copolymère(s) bloc et polymère(s) en peigne.

Le nombre de segments polymériques d'un type chimique ou
10 topologique donné et présents dans les polymères selon l'invention s'entendent en valeur moyenne, étant entendu qu'il s'agit toujours d'une population d'un grand nombre de molécules, présentant dans lesdits nombres une certaine polydispersité.

Dans la présente description et sauf mention contraire, toutes les
15 masses moléculaires, ainsi que toutes les moyennes sur des ensembles de chaînes ou sur des ensembles de segments polymériques, comme la masse moléculaire moyenne, ou le nombre moyen d'atomes le long du squelette, le nombre de points de jonction, ou encore le nombre moyen de greffons dans le cas d'un polymère en peigne, s'entendent comme des moyennes en masse au
20 sens habituel de la physique des polymères.

L'ensemble des polymères considérés selon l'invention, à savoir copolymères blocs ou polymères en peigne, présentent également la caractéristique avantageuse d'être de type irrégulier, c'est à dire que l'ensemble des segments d'au moins un type de nature chimique ou
25 topologique entrant dans leur composition présentent une polymolécularité d'au moins 1,5, et de préférence supérieure à 1,8.

La polymolécularité d'un type de segments polymériques entrant dans la composition d'un polymère selon l'invention, s'entend comme la valeur moyenne de la masse moléculaire desdits segments, prise sur l'ensemble des

segments de ce type entrant dans la composition dudit polymère (moyenne en masse au sens habituel de la physicochimie des polymères).

Une variante privilégiée de polymère en peigne irrégulier, consiste à présenter une polymolécularité des branches latérales d'au moins 1,5, et de
5 préférence supérieure à 1,8.

Une autre variante privilégiée de polymère en peigne irrégulier consiste à présenter une polymolécularité des segments du squelette compris entre deux branches latérales d'au moins 1,5, et de préférence supérieure à 1,8.

Dans un autre mode de réalisation préférentiel, les segments de chacun
10 des types de nature chimique ou topologique entrant dans la composition des polymères selon l'invention, présentent une polymolécularité d'au moins 1,5, et de préférence supérieure à 1,8.

Selon un mode de mise en œuvre privilégié, la polymolécularité des polymères selon l'invention est supérieure à 1,5, et de préférence supérieure à
15 1,8.

La longueur et le nombre des segments polymériques distincts présents dans les polymères en peigne ou les copolymères mis en œuvre au sein des milieux selon l'invention, ainsi que leur nature chimique, peuvent varier significativement dans le cadre de l'invention, et on peut ainsi faire varier
20 grandement les propriétés desdits milieux selon l'application désirée, comme il sera montré plus précisément à l'exposé des exemples de mise en œuvre.

Selon un mode de mise œuvre privilégié, les polymères selon l'invention ont une masse moléculaire (moyenne en masse) supérieure à 50 000, de préférence supérieure à 300 000, de préférence encore supérieure à
25 1 000 000, et plus encore supérieure à 3 000 000.

Selon un mode de réalisation privilégié, lesdits polymères selon l'invention manifestent au sein du milieu de séparation une affinité significative pour les parois dudit canal.

Un mode particulièrement privilégié consiste à présenter au sein du polymère selon l'invention au moins un type de segments polymériques manifestant, au sein du milieu de séparation une affinité spécifique avec la paroi, et au moins un type de segments polymériques présentant dans ledit milieu moins ou pas d'affinité avec la paroi.

La présence de ce type de segments polymériques permet au milieu selon l'invention de réduire l'adsorption des espèces aux parois du canal et/ou l'électroosmose.

En effet, un problème pour toutes les méthodes mettant en jeu des espèces au sein de canaux est l'adsorption des dites espèces aux parois des dits canaux. Ce problème est particulièrement exacerbé dans le cas de canaux de petites dimensions et de macromolécules biologiques, ces dernières étant souvent amphiphiles. Ce phénomène d'adsorption aux parois d'espèces contenues dans l'échantillon ou le fluide a pour conséquence de retarder certains analytes et de créer une dispersion supplémentaire, et donc une perte de résolution, dans le cas des méthodes analytiques. Cette adsorption peut également donner lieu à une contamination des parois du canal, susceptible d'affecter les fluides qu'on souhaite introduire dans ce dernier par la suite.

Une autre limitation, qui concerne plus particulièrement les méthodes de séparation électrocinétiques, est l'électroosmose, un mouvement d'ensemble du milieu de séparation dû à la présence de charges sur les parois du capillaire ou du canal. Ce mouvement étant souvent variable dans le temps et non-uniforme, il nuit à la reproductibilité des mesures et à la résolution. Il est dû aux charges qui peuvent être présentes à la surface du capillaire du fait de sa structure chimique, mais peut également être créé ou augmenté par l'adsorption sur la paroi d'espèces chargées initialement contenues dans les échantillons à séparer, et en particulier de protéines.

Les polymères selon l'invention du type possédant au moins un type de segments polymériques manifestant au sein du milieu de séparation une affinité spécifique avec la paroi, possèdent de par la présence d'une pluralité de

segments de ce type, et de par la masse moléculaire moyenne relativement élevée desdits segments, une grande énergie d'adsorption, et donc réduisent durablement l'électroosmose. Par ailleurs, les polymères selon l'invention comportant en outre dans leur structure des segments polymériques présentant
5 dans ledit milieu moins ou pas d'affinité avec la paroi, évitent un caractère trop hydrophobe néfaste pour la résolution, et peuvent repousser plus efficacement les analytes des parois.

Typiquement, des types de segments polymériques ne présentant pas d'affinité avec la paroi sont constitués de polymère bien solubles dans le milieu
10 de séparation. Toutefois, il peut exister des polymères solubles dans le dit milieu, et présentant néanmoins dans celui-ci une affinité particulière pour une paroi. Dans le cas où le milieu de séparation est une solution aqueuse, des segments sans affinité avec la paroi sont typiquement des segments très hydrophiles. En revanche, des segments avec affinité sont peu hydrophiles
15 voire hydrophobes. Bien entendu, d'autres types d'affinité plus spécifiques peuvent être utilisés, selon la nature de la paroi et celle du milieu de séparation.

Des copolymères optimisés pour la mise en œuvre de l'invention sont notamment ceux dans lesquels l'ensemble des segments présentant une
20 affinité spécifique avec la paroi représente entre 2 et 25 % en masse, de préférence entre 5 et 15 % de la masse molaire totale moyenne desdits copolymères, ou entre 3 et 20 % et de préférence entre 5 et 10 % de la composition totale des copolymères en nombre de moles de monomères.

A titre illustratif des différentes structures susceptibles d'être adoptées
25 par le copolymère selon l'invention, on peut tout particulièrement citer celles où tout ou partie dudit copolymère se présente :

- sous la forme de copolymères blocs séquencés irréguliers. Dans ce cas, une variante privilégiée consiste à alterner le long du polymère des segments présentant une affinité spécifique avec la paroi, et des segments
30 présentant une affinité moindre ou nulle pour la paroi ;

- sous la forme de copolymères en peigne irréguliers. Dans ce cas, une variante privilégiée est caractérisée en ce que les dits polymères se présentent sous la forme de polymères en peigne dont le squelette est constitué par plusieurs segments polymériques présentant une affinité spécifique avec la paroi, et dont les branches latérales sont constituées de segments polymériques présentant une affinité moindre ou nulle pour la paroi, ou de polymères en peigne dont les branches latérales sont constituées par des segments polymériques présentant une affinité spécifique pour la paroi, et dont le squelette est constitué par des segments polymériques présentant une affinité moindre ou nulle pour la paroi.

Selon un mode préféré de l'invention, l'ensemble des segments polymériques d'un type donné de nature chimique ou topologique possèdent en moyenne le long de leur squelette, un nombre d'atomes supérieur à 75, et de préférence encore supérieur à 210, ou présentent une masse moléculaire supérieure à 2500, et de préférence supérieure à 4500.

Selon un mode encore plus privilégié, les différents types de segments présentent le long de leur squelette, un nombre moyen d'atomes supérieur à 75, et de préférence encore supérieur à 210, ou présentent une masse moléculaire supérieure à 1500, et de préférence supérieure à 4500.

Selon un mode de mise en œuvre privilégié, le milieu de séparation est constitué d'un liquide dans lequel au moins un polymère conforme à l'invention est dissous à raison de 0,1 à 20% et de préférence de 1 à 6% en poids.

Il est particulièrement intéressant pour la mise en œuvre de l'invention d'utiliser des copolymères blocs ou des homopolymères en peigne dont au moins un des types de segments est constitué d'un polymère choisi parmi les polyéthers, polyesters comme l'acide polyglycolique, les homopolymères et

copolymères statistiques solubles du type polyoxyalkylène comme le polyoxypropylène, polyoxybutylène, polyoxyéthylène, les polysaccharides, l'alcool polyvinylique, la polyvinylpyrrolidone, les polyuréthanes, les polyamides, les polysulfonamides, les polysulfoxydes, la polyoxazoline, le polystyrènesulfonate, les polymères et copolymères d'acrylamides, de méthacrylamides et d'allyles, substitués ou non.

A titre représentatif des types de segments polymériques présentant dans un milieu de séparation aqueux peu ou pas d'affinité avec les parois, on peut tout particulièrement citer le polyacrylamide et l'acide polyacrylique, le polyacryloylaminopropanol, les polymères et copolymères acryliques et allyliques hydrosolubles, le dextrane, le polyéthylène glycol, les polysaccharides et divers dérivés de la cellulose tels que l'hydroxyethyl cellulose, la méthylcellulose, l'hydroxypropylcellulose, l'hydroxypropylmethylcellulose, ou encore la méthylcellulose, l'alcool polyvinylique, les polyuréthanes, les polyamides, les polysulfonamides, les polysulfoxydes, la polyoxazoline, le polystyrènesulfonate, ainsi que les polymères porteurs de groupements hydroxyles, et tous les copolymères statistiques des dérivés mentionnés ci-dessus.

Bien entendu, d'autres segments polymériques solubles dans le milieu de séparation peuvent être utilisés selon l'invention, en fonction de la nature dudit fluide et de celle des parois du canal, de l'application particulière et de la facilité à les introduire au sein d'un polymère bloc de structure souhaitée.

A titre représentatif des types de segments polymériques, solubles ou non en solvants aqueux, et pouvant présentant dans ceux-ci une affinité particulière avec les parois, on peut citer le diméthylacrylamide, les acrylamides N-substitués par des fonctions alkyles, les acrylamides N,N disubstitués par des fonctions alkyles, l'allylglycidylether, les copolymères des dérivés acryliques ci-dessus entre eux ou avec d'autres dérivés acryliques, les alcanes, les dérivés fluorés, les silanes, les fluorosilanes, l'alcool polyvinylique, les

polymères et copolymères impliquant des dérivés de l'oxazoline, ainsi que les d'une manière générale les polymères présentant une combinaison de liaisons Carbone-Carbone, de fonctions ether-oxyde et de fonctions époxyde, ainsi que tous les copolymères statistiques de ces composés.

5

De nombreux types de segments polymériques peuvent être choisis pour constituer les segments polymériques constituant un polymère selon l'invention, en fonction de l'électrolyte envisagé, parmi les types de polymères connus de l'homme de l'art, en particulier parmi ceux solubles en milieu aqueux. Il est ainsi possible de se reporter à l'ouvrage " Polymer Handbook "

10 Brandrupt & Immergut, John Wiley, New York.

Les polymères selon l'invention peuvent être naturels ou synthétiques. Selon une variante préférée pour la variété et le contrôle qu'elle permet au niveau de la microstructure, les polymères selon l'invention sont des polymères

15 synthétiques.

Conviennent tout particulièrement à l'invention :

- les copolymères du type copolymère en peigne dont le squelette est de type dextrane, acrylamide, acide acrylique, acryloylaminoéthanol ou (N,N)-

20 diméthylacrylamide et au niveau duquel sont greffés des segments latéraux de type acrylamide, acrylamide substitué, (N,N)-diméthylacrylamide (DMA), ou du type copolymère de DMA et d'allylglycidylether (AGE), ou encore d'homopolymère ou de copolymère d'oxazoline ou de dérivés de l'oxazoline ;

- Les copolymères non-thermosensibles du type copolymère bloc

25 séquencé irrégulier et présentant le long de leur squelette une alternance de segments de type polyoxyéthylène et de segments de type polyoxypropylène, ou une alternance de segments de type polyoxyéthylène et de segments de type polyoxybutylène ou plus généralement une alternance de segments de polyéthylène et de segments de type polyéther notablement plus hydrophobes30 que le polyoxyéthylène ;

- les copolymères du type copolymère bloc séquencé irrégulier et présentant le long de leur squelette une alternance de segments de type acrylamide, acide acrylique, acryloylaminoéthanol ou diméthylacrylamide d'une part, et de segments de type (N,N)-diméthylacrylamide (DMA), ou du type
5 copolymère de DMA et d'allylglycidylether (AGE), ou encore d'homopolymère ou de copolymère d'oxazoline ou de dérivés de l'oxazoline ;

- les polymères du type polymère en peigne irrégulier dont le squelette est de type polymère d'agarose, d'acrylamide, d'acrylamide substitué, d'acide acrylique, d'acryloylaminoéthanol, de diméthylacrylamide (DMA),
10 d'allylglycidylether (AGE), de copolymère statistique de DMA et d'AGE, d'oxazoline de dérivés de l'oxazoline, de dextrane, de méthylcellulose, d'hydroxyéthylcellulose, de celluloses modifiées, de polysaccharides, d'éther-oxydes, et au niveau duquel sont greffés des segments latéraux de type polymère d'agarose, d'acrylamide, d'acrylamide substitué, d'acide acrylique,
15 d'acryloylaminoéthanol, de diméthylacrylamide (DMA), d'allylglycidylether (AGE), de copolymère statistique de DMA et d'AGE, d'oxazoline de dérivés de l'oxazoline, de dextrane, de méthylcellulose, d'hydroxyéthylcellulose, de celluloses modifiées, de polysaccharides, d'éther-oxydes ;

- les copolymères du type copolymère en peigne irrégulier dont le
20 squelette est de type polymère d'acrylamide, d'acrylamide substitué, d'acide acrylique, d'acryloylaminoéthanol, de diméthylacrylamide (DMA), d'allylglycidylether (AGE), de copolymère statistique de DMA et d'AGE, d'oxazoline, de dérivés de l'oxazoline, de dextrane, d'agarose, de méthylcellulose, d'hydroxyéthylcellulose, de celluloses modifiées, de
25 polysaccharides, d'éther-oxydes, et est porteur de segments latéraux hydrophobes à courtes chaînes tels que des chaînes alkyles, des dérivés aromatiques, des fluoroalkyles, des silanes ou des fluorosilanes.

Il est également à noter que dans la majorité des applications, il est préférable d'utiliser un polymère selon l'invention essentiellement neutre. Il peut
30 cependant être utile pour certaines applications, et en particulier pour éviter

l'adsorption d'espèces présentant à la fois des charges et des parties hydrophobes, de choisir un polymère selon l'invention délibérément chargé, de préférence d'une charge opposée à celle desdites espèces.

5 En ce qui concerne la préparation des copolymères mis en œuvre selon l'invention, elle peut être effectuée par toute technique conventionnelle de polymérisation ou polycondensation. Le choix de la méthode de préparation est généralement effectué en prenant en compte la structure désirée pour le copolymère à savoir peigne ou linéaire et la nature chimique des différents
10 blocs le constituant.

A titre représentatif de ces variantes de préparation, on peut tout particulièrement citer les procédés selon lesquels lesdits copolymères sont obtenus par :

- polycondensation, polymérisation ou copolymérisation, ionique
15 ou radicalaire, de monomères identiques ou différents, de macromonomères identiques ou différents, ou d'un mélange de monomères et de macromonomères identiques ou différents ou

- par greffage de plusieurs segments polymériques sur un squelette polymérique linéaire ou ramifié de nature chimique identique ou
20 différente.

De manière préférée, tout ou partie des copolymères mis en œuvre selon l'invention sont obtenus par

-a: copolymérisation de monomères et de macromonomères comportant
25 à l'une au moins de leurs extrémités une fonction réactive, ou

-b: copolymérisation de macromonomères comportant au sein de leur structure au moins une fonction réactive.

Au sens de l'invention, on entend par fonction réactive un groupement permettant à la molécule porteuse de ce groupement d'être intégrée dans la

macromolécule au cours de la réaction de copolymérisation sans interrompre la dite copolymérisation.

A l'aide des règles et modes privilégiés énoncés ci-dessus, l'homme de l'art est capable de préparer des copolymères conformes à l'invention, en adaptant la structure, la nature et le mode de préparation desdits polymères en fonction des propriétés de séparation recherchées pour une application ou une autre.

La présente invention a également pour objet un procédé de séparation des espèces contenues dans un échantillon, caractérisé par la mise en œuvre des étapes suivantes:

- a/ remplissage du canal d'un appareil de séparation avec un milieu de séparation selon l'invention,
- b/ introduction à une extrémité dudit canal dudit échantillon contenant lesdites espèces,
- c/ application d'un champ externe destiné à mouvoir certaines espèces contenues dans l'échantillon, notamment un champ électrique, et
- d/ récupération ou détection du passage desdites espèces à un endroit le long du canal, distinct du point d'introduction de l'échantillon.

Dans une variante privilégiée, il n'est pas nécessaire de procéder à un changement de température entre la phase de remplissage du capillaire et celle de l'analyse.

En fonction des applications particulières, le milieu de séparation peut contenir, outre les polymères selon l'invention, d'autres éléments, et en particulier des composants interagissant avec les espèces ou les parois. De nombreux éléments de ce type sont connus de l'homme de l'art.

La présente invention a également pour objet l'utilisation d'un milieu de séparation selon l'invention pour la séparation, la purification, la filtration ou l'analyse d'espèces choisies parmi des espèces moléculaires ou macromoléculaires, et en particulier des macromolécules biologiques comme
5 les acides nucléiques (ADN, ARN, oligonucléotides), les analogues d'acides nucléiques obtenus par synthèse ou modification chimique, les protéines, les polypeptides, les glycopeptides et les polysaccharides, des molécules organiques, des macromolécules synthétiques ou des particules telles que des particules minérales, de latex, des cellules ou des organelles.

10 Dans le cas des méthodes d'analyse par électrophorèse, l'invention est particulièrement utile pour le séquençage de l'ADN, pour lequel elle permet d'obtenir des largeurs de bandes minimales. Elle est également particulièrement favorable pour la séparation de protéines, de protéoglycanes, ou de cellules, pour lesquelles les problèmes d'adsorption sur la paroi sont
15 particulièrement gênants et particulièrement difficiles à résoudre.

En ce qui concerne les appareils, le milieu revendiqué est particulièrement avantageux pour les systèmes microfluidiques, car il permet à travers le choix optimal des différents types de blocs au sein des polymères, de combiner des blocs présentant une bonne affinité pour la surface du canal pour
20 l'obtention d'un traitement durable, et des blocs présentant une bonne répulsion pour les espèces à séparer, et ce quelles que soient lesdites espèces et la nature chimique dudit canal.

Les milieux selon l'invention et les méthodes de séparation mettant en jeu ces milieux sont particulièrement avantageux pour les applications de
25 diagnostic, de génotypage, et de criblage à haut débit, de contrôle de qualité, ou pour la détection de présence d'organismes génétiquement modifiés dans un produit.

En fait, les polymères composant le milieu de séparation considéré dans
30 le cadre de la présente invention s'avèrent avantageux à plusieurs titres.

D'une part, leur capacité à présenter un caractère de "polymère-bloc" leur permet de combiner des propriétés appartenant à des polymères de nature chimique différente, et qu'on ne peut pas toujours réunir dans un homopolymère ou un copolymère statistique. Ils permettent ainsi d'adapter
5 plus souplement la nature chimique du milieu de séparation, en fonction d'une part des espèces à séparer, et d'autre part de la nature chimique des canaux dans laquelle la séparation s'effectue. Ils sont ainsi particulièrement avantageux aussi bien dans les applications utilisant des canaux constitués de polymères ou d'élastomères tels que le PDMS (polydimethylsiloxane), le PMMA
10 (polyméthylméthacrylate), le polycarbonate, le polyéthylène, le polypropylène, le polyéthylène téréphtalate, le polyimide, ou de matériaux inorganiques tels que le verre, les céramiques, le silicium, l'acier inoxydable, le titane, que dans des applications plus traditionnelles utilisant des canaux dont les parois sont constituées de silice fondue.

15 Par rapport aux copolymères-blocs de l'art antérieur, les polymères selon l'invention présentent également des performances supérieures en terme de résolution, vraisemblablement liées à leur caractère irrégulier, c'est-à-dire à la polymolécularité des segments polymériques entrant dans les polymères selon l'invention. Cette caractéristique est particulièrement surprenante, dans la
20 mesure où l'ensemble des copolymères-blocs utilisés dans l'art antérieur met délibérément en jeu des copolymères présentant des segments régulièrement espacés et/ou d'une longueur sélectionnée et essentiellement uniforme (c'est à dire une polymolécularité faible). Cette polymolécularité des segments, dans les polymères selon l'invention présente également des avantages en termes
25 de coût et de flexibilité dans la formulation, puisque des polymères comportant de tels segments polymoléculaires sont non seulement plus performants, mais aussi plus faciles à préparer. En particulier, ils peuvent être préparés à de fortes masses moléculaires.

Dans les applications pour lesquelles une réduction de l'électroosmose
30 ou de l'interaction d'espèces avec la paroi est souhaitée, les polymères selon

l'invention, de par la présence dans leur structure d'un nombre important de segments polymériques présentant une affinité significative avec la paroi, possèdent une grande énergie d'adsorption et peuvent donc réduire durablement l'électroosmose et l'adsorption d'espèces.

5 Enfin, il est en outre vraisemblable que la combinaison d'un squelette linéaire et d'une multiplicité des points de jonction confère aux milieux de séparation selon l'invention certaines des propriétés des gels à l'échelle locale, ce qui est bénéfique en termes de performances de séparation, tout en leur conservant à grande échelle, et en particulier en ce qui concerne les propriétés
10 d'écoulement, des propriétés comparables à celles de polymères linéaires.

Les figures et exemples donnés ci-après sont présentés à titre illustratif et non limitatif de la présente invention.

15 FIGURES :

Figures 1 : Exemple de configuration schématique 1a: d'un copolymère-bloc séquencé irrégulier; 1b: d'un polymère en peigne irrégulier; 1c: d'un copolymère en peigne irrégulier. Les traits gras correspondent à un type de
20 nature chimique, et les traits fins à un autre type de nature chimique.

Figure 2 : Electrophorégramme témoin représentant la séparation du
sizer 50-500 bp, Pharmacia biotech, obtenus à 50°C dans un appareil ABI 310 (Perkin-Elmer), utilisant un capillaire non traité et comme milieu de séparation
25 un tampon 100 mM Na TAPS, 2 mM EDTA, 7 M Urée, dans lequel est dissous 5% d'un homopolymère commercial du type polyacrylamide (Masse moléculaire 700 000~1000000); Les tailles d'ADN correspondant aux différents pics sont indiquées sur le diagramme, en nombre de bases.

Figure 3 : Electrophorégramme témoin représentant une séparation dans des conditions identiques à la figure 2, avec un milieu de séparation commercial "POP6". PE biosystems, Les tailles d'ADN correspondant aux différents pics sont indiquées sur le diagramme, en nombre de bases.

5

Figure 4 : Electrophorégramme représentant une séparation dans des conditions identiques à la figure 2, avec un milieu de séparation 100 mM Na TAPS, 2 mM EDTA, 7 M Urée, dans lequel est dissous 5% de copolymère en peigne P(AM-PDMA)-2 décrit dans l'exemple 2. Les tailles d'ADN correspondant aux différents pics sont indiquées sur le diagramme, en nombre de bases.

10

Figure 5: Comparaison de la résolution calculée entre pics différant d'une base à 500 bases, obtenus à 50°C dans un appareil ABI 310 (Perkin-Elmer), utilisant comme milieu de séparation

15

a: un milieu de séparation commercial "Pop6" PE Biosystems.

b; un tampon 50 mM Na TAPS, 2 mM EDTA, 7 M Urée, dans lequel est dissous 5% d'acrylamide linéaire (Masse moléculaire 700 000 ~ 1 000 000),

c; le même tampon, dans lequel est dissous 5% de copolymère-bloc irrégulier selon l'invention P(AM-PDMA)-2 décrit dans l'exemple 2.

20

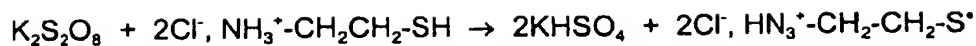
EXEMPLE 1: Préparation d'un macromonomère de PDMA fonctionnalisé de masse moléculaire voisine de 10 000 en vue de la préparation de copolymère conformes à l'invention.

25

1) Polymérisation du PDMA

La polymérisation radicalaire du N,N Diméthylacrylamide (DMA) est réalisée dans l'eau pure. L'amorceur est un couple redox dont l'oxydant est le persulfate de potassium, $K_2S_2O_8$ (KPS) et le réducteur est l'aminoéthanethiol

30 AET, HCl. La réaction d'amorçage est :



L'AET,HCl joue également le rôle d'agent de transfert, ce qui permet de contrôler la longueur des chaînes.

Mode opératoire

5 Dans un tricol de 500 ml surmonté d'un réfrigérant et équipé d'un dispositif d'arrivée d'azote, on introduit 0,18 Mole de DMA et 200 ml d'eau. le mélange est alors agité et chauffé à 29° C par un bain d'eau. On démarre le barbotage d'azote. Au bout de 45 minutes, on ajoute 0,61 g d'AET,HCl (0,0054 mole) préalablement dissous dans 20 ml d'eau, puis 0,0018 moles de
10 persulfate de potassium (KPS) dissous dans une quantité minimale d'eau. Le mélange est maintenu sous agitation durant 3 heures. La solution est ensuite concentrée puis lyophilisée.

Pour isoler le polymère on réalise une précipitation selon la procédure suivante :

15 Le solide obtenu est redissout dans 100 ml de méthanol. Le chlorhydrate présent est neutralisé par addition de 0,0054 mole de KOH (soit 0,30 g dissous dans environ 25 ml de méthanol) incorporée goutte à goutte dans la solution. Le sel formé, KCl, précipite et est extrait par filtration. Le filtrat ainsi récupéré est concentré puis versé goutte à goutte dans 4 litres d'éther. Le polymère
20 précipite et est récupéré par filtration sur fritté n° 4. Le solide est ensuite séché sous vide de pompe à palettes. Le rendement massique est de l'ordre de 50 %.

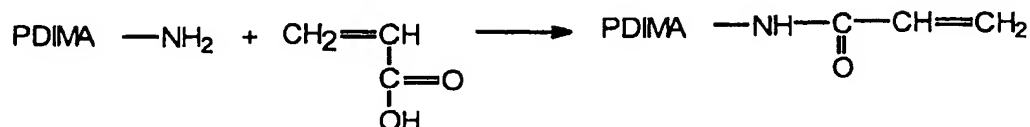
Le protocole ci-dessus conduit à un polymère aminé dénommé " PDMA ", et correspond à des rapports amorceur-monomère $R_o=0,03$ et $A_o=0,01$, où:

25 $R_o = [\text{R-SH}] / [\text{NIPAM}]$ et $A_o = [\text{KPS}] / [\text{NIPAM}]$.

2) Modification du PDMA aminé.

Les macromolécules de PNIPAM synthétisées présentent des fonctions amines en bout de chaînes, celles-ci provenant de l'amorceur aminoéthanethiol
30 AET,HCl.

Par réaction de la fonction amine sur l'acide acrylique, on fixe une double liaison vinylique à l'extrémité de la chaîne selon le schéma réactionnel suivant :



5

Mode opératoire :

Dans un bécher de 100 ml, on introduit 50 ml de chlorure de méthylène, 1,5 g d'acide acrylique (0,021 mole), 9 g de PDMA et 4,3 g de dicyclohexylcarbodiimide (DCCI) (0,021 mole).

Le milieu réactionnel est agité pendant une heure. L'acide acrylique étant en fort excès par rapport au PDMA (la quantité d'acide acrylique est environ vingt fois celle du PDMA), l'ensemble des fonctions aminées a été modifié. Le mélange est ensuite filtré sur fritté n° 4 pour éliminer le précipité dicyclohexylurée, sous-produit résultant de la transformation du DCCI. La purification est effectuée par précipitation dans l'éther.

On obtient ainsi un macromonomère PDMA porteur d'une fonction allyle en bout de chaîne, avec un rendement massique de l'ordre de 70%.

La masse molaire moyenne et la polydispersité des macromonomères ainsi préparés, mesurées par SEC (chromatographie d'exclusion stérique), sont respectivement de l'ordre de 15 000 et 2.

EXEMPLE 2 :

Préparation d'un copolymère P(AM-PDMA)-2 à squelette acrylamide et greffons PDMA, de masse moléculaire 1500 kDalton.

25

La copolymérisation du PDMA aminé (0.4 g) et de l'acrylamide (2;8g) est réalisée pendant 4h dans 50 ml d'eau à température ambiante, avec un dégazage énergétique à l'argon. L'amorceur utilisé est le couple redox persulfate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) [0,075% en mole de la quantité de monomères] -
5 métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) (0,0225% en mole de la quantité de monomères). Le copolymère résultant est purifié par précipitation dans l'acétone et séchage sous vide. Sa masse moléculaire est de 1500 KDalton, et sa polymolécularité M_w/M_n de l'ordre de 2. Le taux d'incorporation de macromonomère, mesuré par RMN du proton est de l'ordre de 6%, ce qui
10 correspond à un nombre moyen de branches latérales sur le squelette de l'ordre de 6.

En raison du mode de polymérisation radicalaire utilisé, les macromonomères constituant les chaînes latérales sont intégrés dans la chaîne polymérique à des positions aléatoires déterminées par le hasard des
15 collisions entre molécules (distribution statistique). Ce mode de polymérisation conduit à une distribution des masses moléculaires des segments polymériques du squelette compris entre deux branches latérales de forme approximativement exponentielle, et donc à des polymolécularités desdits segments polymériques du squelette largement supérieures à 1,8.

20

EXEMPLE 3

Propriétés de séparation obtenues pour l'ADN simple-brin (sizer 50-500 bp, Pharmacia biotech), à 50°C dans un appareil ABI 310 (Perkin-Elmer), dans un tampon 100 mM Na TAPS, 2 mM EDTA, 7 M Urée, dans différents milieux
25 de séparation. On constate visuellement (Fig. 4), et plus quantitativement à travers les mesures de résolution (Fig. 5), que le milieu de séparation selon l'invention P(AM-PDMA)-2 améliore la résolution par rapport au même squelette polymérique non porteur de branches latérales (PAM, fig. 2 et 5), mais également par rapport à un produit commercial à base de PDMA linéaire
30 (POP6 Fig. 3 et 5). Le temps de séparation est également réduit, ce qui est un

avantage supplémentaire des milieux selon l'invention. Il apparaît donc que, de façon surprenante mais bénéfique, ce polymère selon l'invention qui comporte une fraction importante d'acrylamide, et une fraction plus faible de PDMA, présente de par la disposition particulière des dites fractions et de la présence
5 de points de jonction qui caractérisent l'invention, des propriétés supérieures à celles de chacun desdits composants sous forme d'homopolymère.

REVENDECATIONS

1. Milieu liquide non-thermosensible pour l'analyse, la purification ou la séparation d'espèces au sein d'un canal et comprenant au moins un polymère composé de plusieurs segments polymériques, caractérisé en ce que ledit
5 polymère est du type copolymère-bloc irrégulier ou polymère en peigne irrégulier et possède en moyenne au moins trois points de jonction établis entre des segments polymériques de nature chimique ou topologique différente.
2. Milieu selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'ensemble des
10 segments d'au moins un type de nature chimique ou topologique entrant dans la composition dudit polymère présente une polymolécularité d'au moins 1,5.
3. Milieu selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les segments de chacun des types de nature chimique ou topologique entrant dans
15 la composition du polymère, présentent une polymolécularité d'au moins 1,5.
4. Milieu selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que ladite polymolécularité est supérieure à 1,8.
- 20 5. Milieu selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit polymère a une masse moléculaire moyenne supérieure à 50 000, et de préférence supérieure à 300 000.
6. Milieu selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en
25 ce que ledit polymère manifeste une affinité spécifique pour les parois dudit canal.
7. Milieu selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit polymère possède au moins un type de segments polymériques manifestant au sein du
30 milieu de séparation une affinité spécifique avec la paroi et au moins un type de

segments polymériques présentant dans ledit milieu moins ou pas d'affinité avec la paroi.

8. Milieu selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que l'ensemble
5 des segments présentant une affinité spécifique avec la paroi représente entre 2 et 25 % en masse de la masse molaire totale moyenne dudit polymère.

9. Milieu selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce
que l'ensemble des segments polymériques d'au moins un type de nature
10 chimique ou topologique possèdent en moyenne un nombre d'atomes supérieur à 75, et de préférence supérieur à 210, ou présentent une masse moléculaire supérieure à 2500 et de préférence supérieure à 4500.

10. Milieu selon l'une quelconque des revendications précédentes,
15 caractérisé en ce que les différents types de segments polymériques composant le dit polymère possèdent en moyenne un nombre moyen d'atomes supérieur à 75, et de préférence supérieur à 210, ou présentent une masse moléculaire supérieure à 1500, et de préférence supérieure à 4500.

20 11. Milieu selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le polymère possède en moyenne un nombre de points de jonction compris entre 4 et 100.

12. Milieu selon l'une quelconque des revendications précédentes,
25 caractérisé en ce que le polymère est un copolymère bloc présentant en moyenne au moins quatre segments polymériques.

13. Milieu selon l'une quelconque des revendications précédentes,
caractérisé en ce que le polymère est un polymère en peigne présentant en
30 moyenne au moins deux chaînes latérales.

14. Milieu selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le polymère comprend au moins un type de segment choisi parmi les polyéthers, polyesters comme l'acide polyglycolique, les
5 homopolymères et copolymères statistiques solubles du type polyoxyalkylène comme le polyoxypropylène, polyoxybutylène, polyoxyéthylène, les polysaccharides, l'alcool polyvinylique, la polyvinylpyrrolidone, les polyuréthanes, les polyamides, les polysulfonamides, les polysulfoxydes, la polyoxazoline, le polystyrènesulfonate, les polymères et copolymères
10 d'acrylamides, de méthacrylamides et d'allyles, substitués ou non.

15. Milieu selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit polymère comprend au moins un polymère choisi parmi :

15 - les copolymères du type copolymère en peigne dont le squelette est de type dextrane, acrylamide, acide acrylique, acryloylaminoéthanol ou (N,N)-diméthylacrylamide et au niveau duquel sont greffés des segments latéraux de type acrylamide, acrylamide substitué, (N,N)-diméthylacrylamide (DMA), ou du type copolymère de DMA et d'allylglycidylether (AGE), ou d'homopolymère ou
20 de copolymère d'oxazoline ou de dérivés de l'oxazoline ;

- les copolymères non-thermosensibles du type copolymère séquencé irrégulier et présentant le long de leur squelette une alternance de segments de type polyoxyéthylène et de segments de type polyoxypropylène, ou une alternance de segments de type polyoxyéthylène et de segments de type
25 polyoxybutylène ou une alternance de segments de polyéthylène et de segments de type polyéther plus hydrophobes que le polyoxyéthylène ;

- les copolymères du type copolymère bloc séquencé irrégulier et présentant le long de leur squelette une alternance de segments de type acrylamide, acide acrylique, acryloylaminoéthanol ou diméthylacrylamide d'une
30 part, et de segments de type (N,N)-diméthylacrylamide (DMA), ou du type

copolymère de DMA et d'allylglycidylether (AGE), ou d'homopolymère ou de copolymère d'oxazoline ou de dérivés de l'oxazoline ;

- les polymères du type polymère en peigne irrégulier dont le squelette est de type polymère d'agarose, d'acrylamide, d'acrylamide substitué, d'acide
5 acrylique, d'acryloylaminoéthanol, de diméthylacrylamide (DMA), d'allylglycidylether (AGE), de copolymère statistique de DMA et d'AGE, d'oxazoline de dérivés de l'oxazoline, de dextrane, de méthylcellulose, d'hydroéthylcellulose, de celluloses modifiées, de polysaccharides, d'éther-
oxydes, et au niveau duquel sont greffés des segments latéraux de type
10 polymère d'agarose, d'acrylamide, d'acrylamide substitué, d'acide acrylique, d'acryloylaminoéthanol, de diméthylacrylamide (DMA), d'allylglycidylether (AGE), de copolymère statistique de DMA et d'AGE, d'oxazoline de dérivés de l'oxazoline, de dextrane, de méthylcellulose, d'hydroéthylcellulose, de celluloses modifiées, de polysaccharides, d'éther-oxydes

15 - les copolymères du type copolymère en peigne irrégulier dont le squelette est de type polymère d'acrylamide, d'acrylamide substitué, d'acide acrylique, d'acryloylaminoéthanol, de diméthylacrylamide (DMA), d'allylglycidylether (AGE), de copolymère statistique de DMA et d'AGE, d'oxazoline, de dérivés de l'oxazoline, de dextrane, d'agarose, de
20 méthylcellulose, d'hydroéthylcellulose, de celluloses modifiées, de polysaccharides, d'éther-oxydes, et est porteur de segments latéraux hydrophobes à courtes chaînes tels que des chaînes alkyles, des dérivés aromatiques, des fluoroalkyles, des silanes, des fluorosilanes.

25 16. Utilisation d'un milieu selon l'une des revendications 1 à 15, pour la séparation, la purification, la filtration ou l'analyse d'espèces choisies parmi des espèces moléculaires ou macromoléculaires, des macromolécules biologiques de type acides nucléiques, leurs analogues de synthèse, les protéines, les polypeptides, les glycopeptides et les polysaccharides, des molécules

organiques, des macromolécules synthétiques ou des particules telles que des particules minérales, de latex, des cellules ou des organelles.

17. Utilisation selon la revendication 16 ou utilisation d'un milieu selon
5 l'une des revendications 1 à 15 dans un canal dont une dimension au moins est de dimension submillimétrique.

18. Utilisation selon la revendication 16 ou 17 ou utilisation d'un milieu selon l'une des revendications 1 à 15 pour les séparations électrocinétiques.

10

19. Utilisation selon l'une des revendications 16 à 18 ou utilisation d'un milieu selon l'une des revendications 1 à 15 pour les applications de diagnostic, de génotypage, et de criblage à haut débit, de contrôle de qualité, ou pour la détection de présence d'organismes génétiquement modifiés dans un produit.

15

20. Procédé pour la séparation, l'analyse et/ou l'identification d'espèces contenues dans un échantillon, caractérisé en ce qu'il comprend

a/ le remplissage du canal d'un appareil de séparation avec un milieu de séparation selon l'une des revendications 1 à 15,

20

b/ l'introduction à une extrémité dudit canal dudit échantillon contenant lesdites espèces,

c/ l'application d'un champ externe destiné à mouvoir certaines espèces contenues dans l'échantillon, et

d/ la récupération desdites espèces ou la détection de leur passage à un
25 endroit le long du canal, distinct du point d'introduction de l'échantillon.

1/5

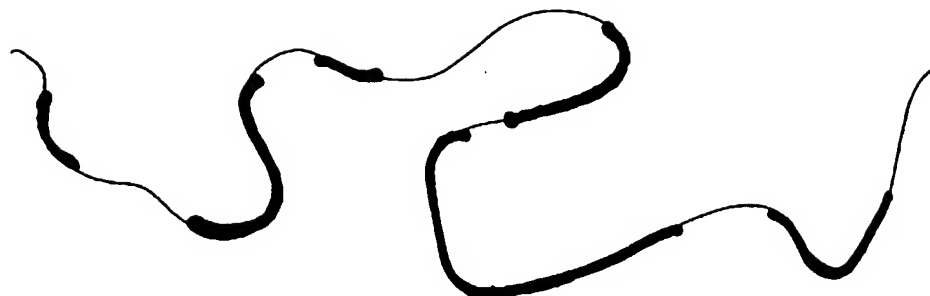


FIG.1a

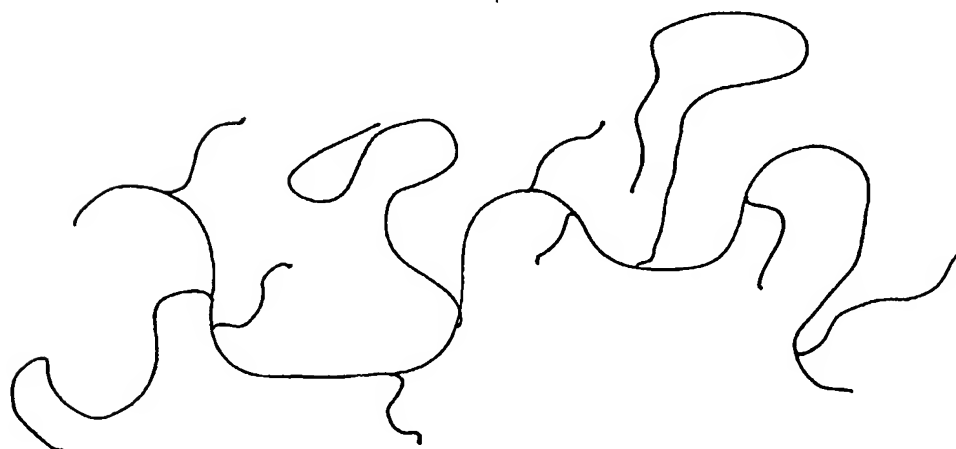


FIG.1b

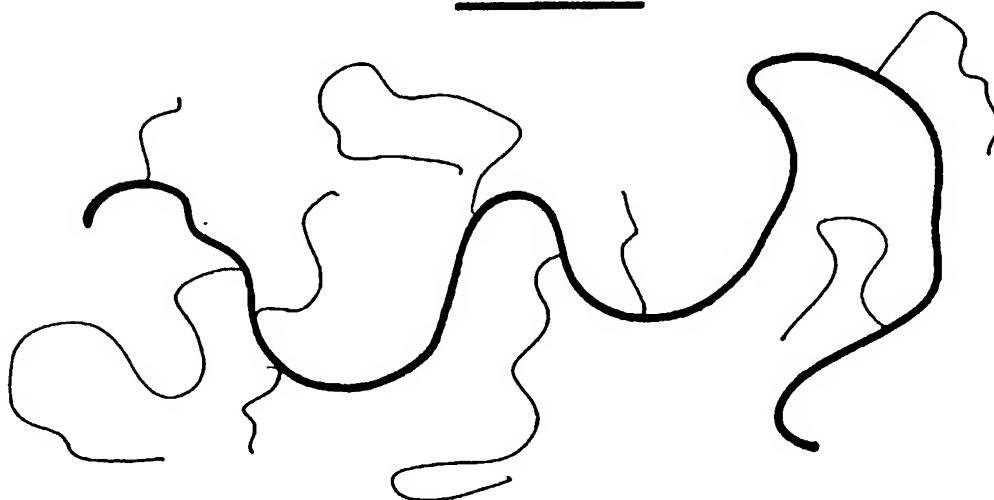
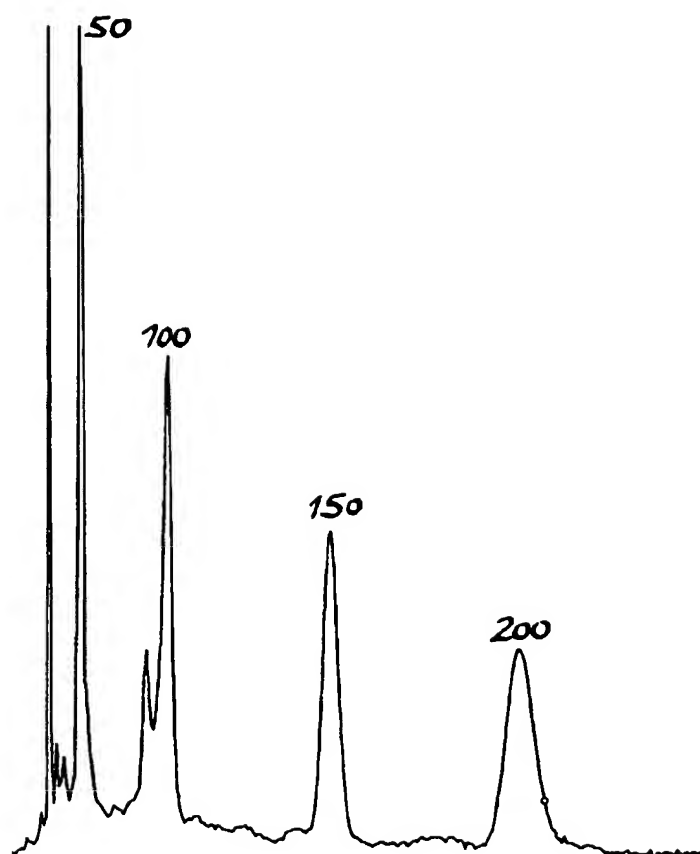
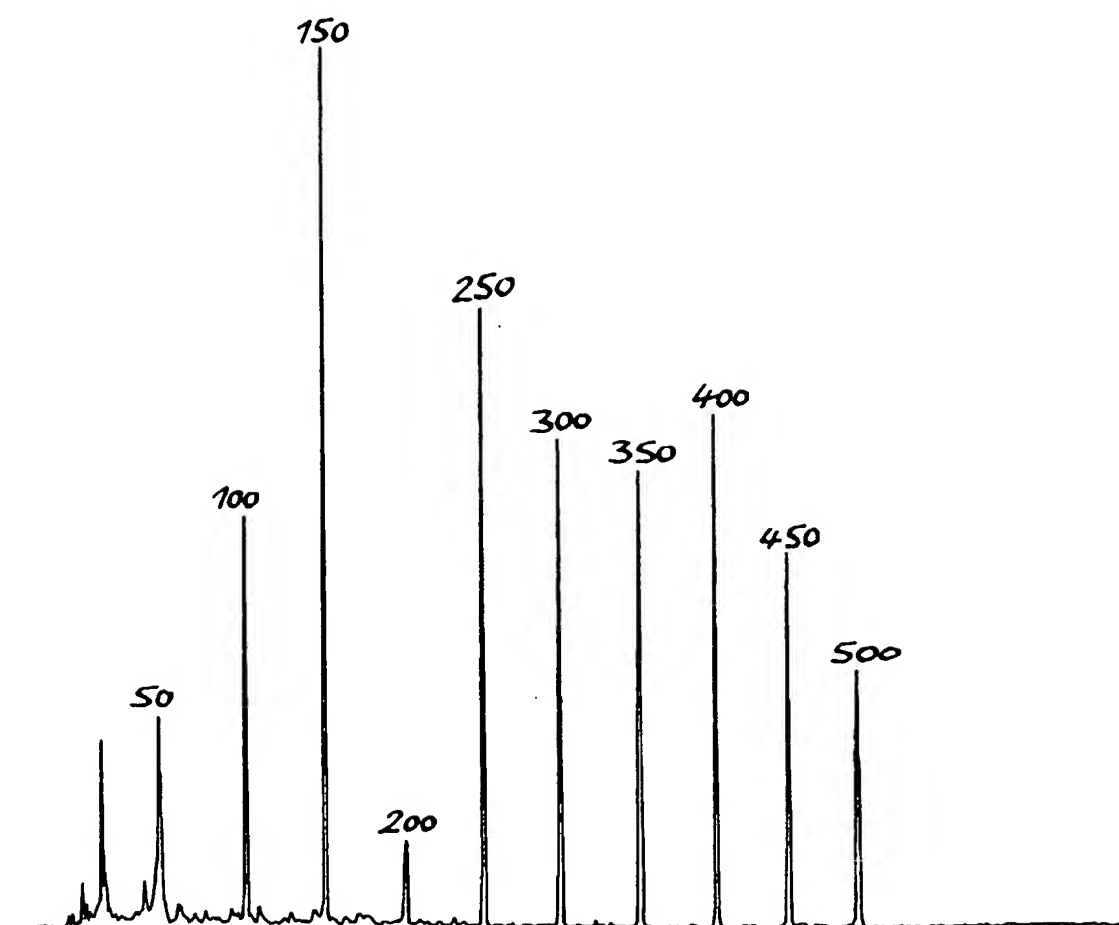


FIG.1c

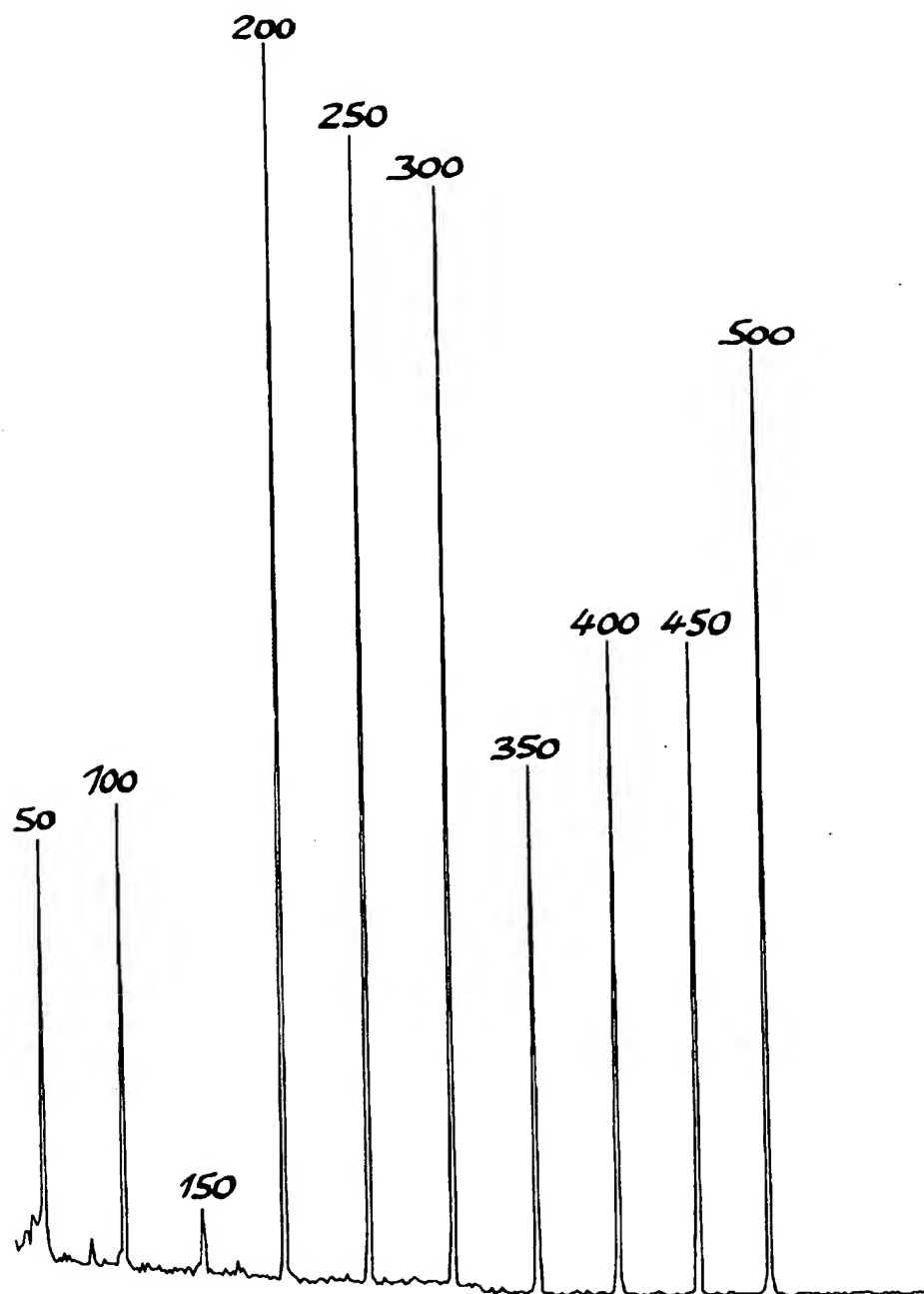
2/5

**FIG. 2**

3/5

**FIG.3**

4/5

**FIG.4**



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

2811083

N° d'enregistrement
nationalFA 590464
FR 0008526

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	WO 94 10561 A (SOANE TECHNOLOGIES INC) 11 mai 1994 (1994-05-11) * page 8, alinéa 2 - page 18, alinéa 3; figures *	1-20	G01N27/447 G01N33/68 B01D57/02 B01D15/08 B01L3/00
Y	EP 0 339 678 A (AT BIOCHEM) 2 novembre 1989 (1989-11-02) * page 5, ligne 21 - ligne 24 * * tableaux * * abrégé *	1-20	
A	US 5 759 369 A (WINNIK MITCHELL A ET AL) 2 juin 1998 (1998-06-02) * colonne 3, ligne 44 - colonne 5, ligne 31; figures *	1-20	
A	US 5 290 418 A (MENCHEN STEVEN M ET AL) 1 mars 1994 (1994-03-01) * le document en entier *	1-20	
A	US 5 468 365 A (MENCHEN STEVEN M ET AL) 21 novembre 1995 (1995-11-21) * le document en entier *	1-20	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
A	WO 97 45721 A (CIBA GEIGY AG ;MUSCATE ANGELIKA (DE); PAULUS ARAN (DE); NATT FRANC) 4 décembre 1997 (1997-12-04) * le document en entier *	1-20	G01N
A	US 5 891 313 A (JOHNSON BEN F ET AL) 6 avril 1999 (1999-04-06) * le document en entier *	1-20	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 mai 2001		Bosma, R	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			